

Evaluación de eficiencia del sistema domiciliario para abastecimiento de agua segura, corregimiento San Fernando, Nariño

Efficiency evaluation of the domiciliary system for supply of safe water, San Fernando district

Félix David Rivera Madroño¹; Andrés Felipe Zambrano Jácome².

¹ Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia,
david.r.1911@hotmail.com

² Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia,
andreszambrano989@gmail.com

RESUMEN

Las zonas rurales colombianas presentan un déficit en la cobertura del servicio de abastecimiento de agua segura o los sistemas de tratamiento ya implementados, no son lo suficientemente eficientes en la remoción de agentes patógenos. Las intervenciones de tratamiento doméstico del agua pueden contribuir a la protección de la salud pública en situaciones en las que el agua de consumo no se trata adecuadamente. El objetivo de esta investigación fue determinar la eficiencia de remoción de un sistema domiciliario no convencional para el abastecimiento de agua segura en el corregimiento de San Fernando – Municipio de Pasto. Para esto se desarrollaron tres fases, la primera fase estableció el diagnóstico de la zona de estudio, la cual contempló mapa de riesgo, caracterización de la fuente de abastecimiento, caracterización físico-espacial, socioeconómica y cultural, selección de muestra de la población objeto de estudio y formulación de indicadores; la segunda fase definió la tecnología a implementar a través del análisis multicriterio y el proceso de análisis jerárquico con seis expertos, donde también se diseñó e implementó la estrategia de transferencia participativa para la higiene y el saneamiento, complementada con los procesos de enseñanza aprendizaje; finalmente, la tercera fase que determinó la eficiencia del sistema de abastecimiento de agua segura implementado; por medio de tres seguimientos de toma de muestras y la comparación con las muestras de agua cruda obtenidas en la caracterización, determinando que el sistema de tratamiento es 99% eficiente en la remoción

de turbidez, coliformes totales y coliformes fecales, lo cual garantiza el consumo de agua segura en la población.

Palabras clave: tratamiento, patógeno, remoción, calidad.

ABSTRACT

Colombian rural areas have a deficit in the coverage of the safe water supply service. In addition, the treatment systems already implemented, are not efficient enough in the removal of pathogens. Domestic water treatment interventions can greatly contribute to the protection of public health in situations where drinking water is not adequately treated. The objective of this investigation was to determine the efficiency of removal of an unconventional household system for the supply of safe water in the district of San Fernando – Municipality of Pasto. For this, three phases were developed. The first phase was the diagnosis of the study hygiene, which included a risk map, characterization of the source of supply, physical-spatial, socioeconomic and cultural characterization, hygiene selection of the population under study and formulation of indicators; the second phase was the definition of the technology to be implemented through the multicriteria analysis and hierarchical analysis process of 6 experts, where the participatory transfer strategy for hygiene and sanitation was also designed and implemented, complemented with the teaching-learning strategy; finally, the third phase that determined the efficiency of the safe water supply system implemented; by means of 3 monitoring samples and the comparison with the raw water samples obtained in the characterization, determining that the treatment system is 99% efficient in the removal of turbidity, total coliforms and fecal coliforms, which guarantees the consumption of safe water in the population.

Key words: treatment, pathogen, removal, quality.

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico, es uno de los elementos esenciales en el sustento de la vida y fundamental en el desarrollo del hombre, puesto que requiere diferentes cantidades y calidades específicas según lo demande cada una de las actividades de vital importancia como lo son de consumo y actividades productivas, para garantizar así su sostenimiento en el tiempo (Pontificio Consejo de Justicia y Paz, 2012). También afecta los patrones de vida y cultura regionales, por lo que se le reconoce como un agente preponderante en el desarrollo de las comunidades (FUSDA, 2008). El agua puede resultar alterada fácilmente a causa de procesos antrópicos y naturales, que en consecuencia pueden repercutir negativamente a la salud (Fernández, 2012).

La calidad del agua está condicionada por diversos factores. Naturalmente, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua (ONU, 2014). En cuanto a la acción antrópica, la calidad del agua estaría condicionada por varias fuentes como lo son la eutrofización proveniente de escorrentías agrícolas, de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales, entre otros (Espinosa, 2014).

El acceso al agua potable, es uno de los derechos humanos básicos y un componente fundamental de las políticas eficaces de protección de la salud en las comunidades (NUDH, 2011). Según la OMS (2004), el agua no debe presentar ningún tipo de alteración ni riesgo que pueda causar irritación química, intoxicación o infección microbiológica que sea perjudicial a la salud humana.

En el departamento de Nariño, la cobertura de acueducto urbano es del 89% y la cobertura de acueducto rural del 64%. La cobertura de agua potable para el departamento fue del 85% en la zona urbana y del 2,6% en el área rural, lo que quiere decir que el 97.4% restante se abastece de agua que no está catalogada como apta para el consumo humano (Instituto Departamental de Salud de Nariño, 2016).

El corregimiento de San Fernando es un claro ejemplo de la problemática anteriormente mencionada puesto que no cuenta con una completa cobertura de abastecimiento de agua potable, y a pesar de que la población realiza por cuenta propia el tratamiento del agua, utilizando únicamente el proceso de cloración, no se garantiza que esté en óptimas condiciones para su consumo (JAL, 2017). Según la Subsecretaría de Planeación y Calidad de Pasto (2018), la población del corregimiento de San Fernando en el año 2017 reportó 148 casos de gastritis, 157 casos de amebiasis y parasitosis, 38 casos de gastroenteritis, 12 casos de estreñimiento, 3 casos de cálculos biliares y 1 caso de colitis.

Las intervenciones de tratamiento doméstico del agua (TDA) pueden contribuir en gran medida a la protección de la salud pública en situaciones en las que el agua de consumo de diversas fuentes, incluso el agua entubada u otras fuentes mejoradas, no se trata adecuadamente o se contamina durante su distribución o almacenamiento (OMS, 2012). Por todo lo anterior, la implementación de sistemas de tratamiento de agua de tipo no convencional, se convierte en una alternativa viable para la depuración de agentes patógenos, garantizando así las condiciones óptimas para el consumo o preparación de alimentos. Es por esto que el presente trabajo de investigación evaluó un sistema domiciliario de tipo no convencional, para el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en población vulnerable del corregimiento de San Fernando - Municipio de Pasto; a partir del diagnóstico de la comunidad, la definición de la tecnología y la determinación del porcentaje de eficiencia en la remoción de patógenos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en la vereda de Alto San Fernando en el corregimiento de San Fernando, con una población de 250 habitantes equivalente a 90 familias, localizada en el municipio de Pasto (Nariño, Colombia) a 4 kilómetros de la ciudad de San Juan de Pasto con una altura de 2800 m.s.n.m., su posición geográfica es de 1°13'14.78" latitud norte y 77°13'35" longitud oeste, presenta un clima frío con temperaturas que se establecen entre 10°C y 14°C (JAL, 2017).

Para dar cumplimiento al objetivo de esta investigación se desarrolló tres fases, la primera de ellas el diagnóstico, la segunda la definición de la tecnología y la tercera la determinación de la eficiencia de la tecnología.

Fase diagnóstico

Caracterización de la fuente de abastecimiento

La primera fase de elaboración del diagnóstico integral, se basó en el manual de introducción a la gestión ambiental municipal propuesto por el CEPPIA (2011), que partió del establecimiento de la calidad de la fuente de abastecimiento. Se recopiló información secundaria suministrada por El Instituto Departamental de Salud de Nariño (2016) y el último censo sanitario (JAL, 2017).

Se realizó el mapa de riesgo de calidad de agua para consumo humano, a través de la metodología propuesta por Carvajal (2012) y la Resolución 4716 de 2010, expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, usando el software ArcGis en su versión 10.1 a escala 1:25.000; donde se identificaron los parámetros físico – químicos y microbiológicos a analizar de acuerdo a la Resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1575 de 2007, expedido por el Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en las dos bocatomas de abastecimiento del corregimiento de San Fernando; además se realizó un muestreo en el punto de abastecimiento directo en un vivienda, posteriormente fueron llevados a laboratorios del Valle, certificados por la NTC-ISO 5667; finalmente se estableció la línea base de las condiciones iniciales en cuanto a calidad del agua.

Caracterización físico-espacial, socioeconómica y cultural

Se llevó a cabo la caracterización físico - espacial con la metodología propuesta por Patiño *et al.*, (2015). Simultáneamente, con la propuesta ejecutada por León & Mejía (2015), se identificó la parte socioeconómica y cultural a través de una encuesta semiestructurada con 42 preguntas, que contemplaban aspectos como: las características de la familia, condiciones de vivienda, agua para consumo humano, saneamiento básico y cultura.

Selección de muestra de estudio

La muestra objeto de estudio, se calculó mediante la fórmula propuesta por Lagares & Puerto (2001), teniendo en cuenta, un grado de confianza del 90% (Z), una probabilidad de ocurrencia del 90%(p) y un error estándar estimado del 10% (e) y una población total de 90 familias. Además de un sistema de información sobre la población objeto de estudio basado en la ponderación de criterios de selección de beneficiarios a través de un muestreo no paramétrico (Trejos, 2007). Para esto se desarrollaron tres etapas.

En la primera etapa se identificaron las características de la población en los 90 hogares a través de encuestas realizadas en la caracterización físico espacial, socioeconómica y cultural; en la segunda etapa se estableció un mecanismo técnico para el registro de beneficiarios potenciales en el programa Excel 2013; por último, se calificó con un valor de 1 a las familias que presentaban los siguientes criterios: población más vulnerable (población infantil y adultos mayores), ingresos económicos en el hogar menores a un S.M.L.V, si el hogar no tiene acceso a un sistema de salud, estrato social uno, si no cuenta con acceso de agua segura y condiciones de la vivienda (piso en barro - paredes en tapia); los hogares con mayor puntaje fueron los seleccionados.

Por otro lado, una vez se conoció la vulnerabilidad y las condiciones de vida de las familias, se definió los criterios económicos, técnicos, sociales y ambientales que apoyaron la selección de la tecnología.

Fase definición de la tecnología

En la segunda fase se definió la tecnología a través del modelo multicriterio propuesto por Mazorra & González (2012); para el desarrollo de este modelo en primera instancia se definieron 6 expertos en temas de abastecimiento seguro de agua, saneamiento y de entorno saludable. Al mismo tiempo, se efectuó una revisión bibliográfica que identificó diferentes sistemas domiciliarios de tipo no convencional para consumo de agua segura y se realizó un catálogo de alternativas que puedan ser efectivas en el tratamiento de agua potable con sus respectivas características.

Posteriormente, se hizo una consulta a los seis expertos para preseleccionar cuatro estrategias más viables por medio de la técnica de análisis jerárquico ponderado propuesta por Moreno

(2012). Para esta jerarquización, a cada una de las estrategias se les asignó un puntaje del uno al diez, donde el puntaje de diez fue asignado a la de mayor importancia y el puntaje uno fue asignado a la de menor importancia, no se repitió puntaje.

Una vez se obtuvieron las cuatro estrategias, los seis expertos calificaron los pesos de criterios formulados en la fase de diagnóstico.

- Técnico: Qué tan eficiente es en la remoción de agentes patógenos.
- Ambiental: La no generación de residuos que pueda afectar el medio ambiente.
- Económico: Cuáles son los costos de adquisición, operación, mantenimiento y si representa ingresos o egresos.
- Social: Si minimiza la vulnerabilidad ante posibles enfermedades.

Para efectos de la calificación se tuvo en cuenta la intensidad de importancia (Tabla 1) y el razonamiento de opuestos que dicta, si la fila es absolutamente más importante que la columna y tiene una potencia de 9, entonces la columna tiene que ser absolutamente menos importante que la fila y está valorado en 1/9 (Mazorra & González, 2012).

Tabla 1. Intensidad de criterios

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos factores contribuyen igualmente en el objetivo
3	Algo más importante	La experiencia y el juicio favorece ligeramente uno sobre el otro
5	Mucho más importante	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente uno sobre el otro
7	Muchísimo más importante	La experiencia y el juicio favorecen muy fuertemente sobre el otro. Su importancia se demuestra en practica
9	Absolutamente más importante	La evidencia a favor de uno sobre el otro es de la validez más alto posible

Fuente: Moreno, 2012.

Una vez se ejecutó la ponderación de los criterios los seis expertos evaluaron los cuatro (4) sistemas seleccionados de acuerdo a cada uno de los criterios técnico, ambiental, económico y social. Igualmente para efectos de la calificación se tuvo en cuenta la intensidad de criterios (Tabla 1) y el razonamiento de opuestos.

Al obtener la calificación por cada experto los resultados fueron transcritos en el Software Excel 2013 y se desarrolló la normalización de la matriz de criterios y las matrices de evaluación de tecnologías por criterios, a través de la división de cada valor por la suma de columnas; posteriormente, se obtuvo el vector de prioridad a través del promedio de los valores de la matriz normalizada. Para el valor del vector de prioridad de cada tecnología fue calculado su ponderado y éste fue multiplicado por el valor del vector de prioridad de cada criterio, obteniendo así el sistema a seleccionar, el cual fue el de mayor valor.

2.2.1 Implementación de la estrategia de transferencia social

En relación con la ejecución de una adecuada transferencia social por parte de la comunidad, se establecieron 5 reuniones. En la primera reunión se realizó un acercamiento con los líderes comunitarios y la comunidad seleccionada, Murtagh (2009) establece que generar un ambiente social de aceptación por parte de la comunidad aumenta el porcentaje de éxito de apropiación de la estrategia social. Se realiza entonces la socialización del proyecto, donde se presentó el equipo de trabajo, la justificación del desarrollo de la investigación, las actividades que se llevarían a cabo en la zona de estudio, las características de los sistemas de tratamiento doméstico de agua y la importancia de la higiene y saneamiento a través de un sociodrama con títeres, y se consolidó el compromiso de la comunidad con la participación activa en el proyecto.

En la segunda reunión con la comunidad, se organizó una charla para presentar el sistema no convencional a implementar, sus características, y propiedades fundamentales. Así mismo se explicó la importancia de implementarlo en cada hogar y se habló sobre los conceptos básicos de uso y mantenimiento de los mismos.

En la tercera, cuarta y quinta reunión con la comunidad, se llevó a cabo el desarrollo de la guía de transferencia participativa para la higiene y el saneamiento propuesta por la

Organización Mundial de la Salud (2012) y fue complementada con los procesos de enseñanza aprendizaje propuesta por Murtagh (2009) con el fin de lograr una adecuada apropiación de la tecnología.

Cabe resaltar que también se realizaron seguimientos mensuales para determinar si se ha presentado un adecuado uso y mantenimiento por parte de la comunidad por medio de un formato de evaluación técnico propuesto por (Leonel *et al.*, 2016).

Para la tercera y última fase en la determinación de la eficiencia de la tecnología, se contempló: la selección del lugar donde iba a ser instalado la tecnología, según las recomendaciones de la guía (PHAST, 2012), una capacitación del hogar donde se brindó información del uso y mantenimiento de la tecnología y el seguimiento para la determinación del porcentaje de eficiencia de la tecnología que se basó de la metodología propuesta por la Organización Mundial de la Salud (2012), que parte de la toma de muestras de agua del sistema de abastecimiento implementado y la comparación con las muestras de agua sin tratamiento obtenidas en la caracterización de la calidad del agua, además de la comparación con la normativa (Resolución 2115/2007). Para esto se realizaron 3 seguimientos durante 4 meses.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase diagnóstico

La vereda Alto San Fernando limita al nororiente con el corregimiento de La Laguna, al norte con las veredas, La Cadena y El Común, al sur oriente con el corregimiento de Mocondino. La comunidad se abastece con dos bocatomas, ubicadas en de la quebrada Tábano y Chauperrio, captando un caudal de 11 l/s. El acueducto se construyó hace 40 años y desde hace 14 años no se realiza el mantenimiento a la red de tubería que distribuye el agua (JAL, 2017). El acueducto es administrado por una Junta local y se financia a través de recursos de la comunidad.

Para la fase de diagnóstico, se realizó el mapa de riesgo de acuerdo a la Resolución 4716 de 2010; aguas arriba de las bocatomas no presentan ningún factor antrópico que pueda alterar la calidad del agua; justo antes de la primera bocatoma hay una caída de agua de

aproximadamente 30 metros, según Sánchez (2016) la caída de agua y el choque con rocas mejora la calidad del agua al aumentar las concentraciones de oxígeno disuelto en los componentes de los caudales. Por lo anterior, el agua que ingresa a la bocatoma ubicada sobre la quebrada Tábano presenta dicho beneficio; en la segunda bocatoma se registró un movimiento masal que arrasó con la capa vegetal que cubría el cuerpo de agua. Los predios aledaños a las bocatomas son propiedad de CORPONARIÑO y hacen parte de zona de conservación.

Por lo anterior, se estableció que los parámetros a analizar para determinar la calidad del agua fueron: pH, color aparente, alcalinidad, hierro, sulfatos, cloruros, cloro residual, dureza total, turbidez, coliformes totales y *E. Coli*. Según la Resolución 2115 de 2007.

Calidad de la fuente de abastecimiento

La caracterización fisicoquímica realizada a las dos bocatomas determinó que los parámetros fisicoquímicos están dentro de lo estipulado por la normativa; sin embargo, los parámetros microbiológicos como los coliformes totales y *E. Coli* la incumplen. El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) para las dos fuentes hídricas es de 48,5% con una clasificación de riesgo alto de acuerdo al Artículo 15 de la Resolución 2115 de 2007. La red de distribución a lo largo de su trayecto por toda la vereda presenta alteraciones microbiológicas y éstas se agravan a medida que el agua llega al tramo más bajo, donde se presenta además la alteración de los parámetros fisicoquímicos como el color aparente y turbidez, incumpliendo la norma.

Según la UNICEF (2005), las estructuras de red de distribución de agua pueden realizar un proceso de colmatación al no presentar un adecuado mantenimiento, esto genera una contaminación al contacto con el agua. La red de distribución de la vereda Alto San Fernando presenta dicha problemática al no presentarse un mantenimiento de la tubería hace 14 años, el agua que una vez es tratada se vuelve a contaminar posiblemente por el proceso de colmatación de la tubería y por medio de conexiones erradas. El índice de riesgo se mantiene en un nivel alto (Tabla 2).

Tabla 2. Calidad de la fuente de abastecimiento.

Parámetro	Unidades	Calidad de la fuente					Normatividad Resolución 2115 de 2007
		Bocatomas		Agua en red			
		B1	B2	C1	C2	C3	
pH	pH	6,9	6.8	7,3	6,6	7,3	Cumplen
Color aparente	UPC	3	3,6	8	4,1	*31	Cumplen - *No cumple
Turbidez	NTU	0,26	0,21	1,39	0,34	2,66*	Cumplen- * No cumple
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	62	54	22	56	22	Cumplen
Hierro	mg Fe/l	0,14	0,13	0,14	0,1	0,28	Cumplen
Sulfatos	mg SO ₄ ⁻² /l	1	1	1	1,4	1	Cumplen
Cloruros	mg Cl ⁻ /l	9,7	8,7	1,5	6,3	1,5	Cumplen
Cloro residual	mg/ Cl ₂ /l	0,03	0,02	0,01	1,1	0,02	Cumplen
Dureza total	ppm CaCO ₃	32	34	24	28	20	Cumplen
Coliformes totales	NMP/100 ml	17	27	3	48	150	No cumplen
<i>E. coli</i>	NMP/100 ml	1	1	3	74	64	No cumplen
IRCA	%	48,2	48,2	48,2	48,2	73,5	
Clasificación del riesgo	Nivel	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	

De las encuestas realizadas, se pudo determinar que el 96% consume agua del sistema de acueducto; entendiendo que la calidad del agua en la red de distribución no es apta para consumo humano según la caracterización realizada se encuentra una problemática sanitaria. La OMS (2012) establece que el agua no apta para consumo humano y el saneamiento deficiente, están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, EDA's, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis.

El deterioro de la salud lleva a que las comunidades retrasen su desarrollo económico, social y cultural, puesto que afecta la normalidad de sus actividades productivas tales como su

trabajo, educación y recreación; además cuando los infantes adquieren enfermedades, su desarrollo físico y emocional se atrofia (Alleyne & Cohen, 2013).

Cabe resaltar que el Plan de Desarrollo Municipal (2016-2019) no estableció proyectos para la construcción de una planta de tratamiento de agua potable en el corregimiento de San Fernando. Por lo anterior, la implementación de tratamientos domésticos de agua se vuelven una alternativa ideal que, de manera inmediata y momentánea, permite a las comunidades tener acceso a agua segura para evitar problemas de salubridad y a la vez mejorar su calidad de vida mientras se les da una solución definitiva (Grisales, 2009).

Caracterización físico espacial, socioeconómica y cultural

Según la clasificación de suelo rural del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Pasto “Territorio Con-Sentido (2014-2027)” se pudo determinar que la vereda tiene suelo apto para actividades como la agricultura, el turismo, la ganadería, forestales y la industria. Presenta vías de tipo primaria y secundaria y se ubica a 2 kilómetros de la variante que conecta con el casco urbano de Pasto. Con el fin de conocer los ingresos y las condiciones de habitabilidad de las familias, se determinó que el 85% de las familias cuenta con vivienda propia. El 70 % de las familias cuenta con 2 a 3 habitaciones. El 67% de las viviendas están construidas en materiales de cemento y ladrillo, el 23% en tapia y el 10% en madera. El 90% de las viviendas tiene piso en cemento y granito. Por otra parte el 85% de las familias de la vereda Alto San Fernando tienen ingresos menores a 1 S.M.L.V.

Las instituciones que se presentan en la vereda son la Gobernación de Nariño, Alcaldía de Pasto, Instituto Departamental de Salud, CORPONARIÑO, Universidad de Nariño, Universidad Mariana, SENA, hogar comunitario del Instituto Colombiana de Bienestar Familiar (ICBF), Institución Educativa Municipal San Fernando; también cuenta con la Junta de Administradora de acueducto y la Junta de Acción Comunal.

Selección de la muestra de estudio

La muestra significativa para la investigación según lo propuesto por Lagares & Puerto (2001) fue de 15 familias.

De las 90 familias, una vez ejecutada la metodología de ponderación de criterios para la selección de beneficiarios propuesta por Trejos (2007), nueve familias tuvieron calificaciones de 9 punto, dos familias con calificaciones de 8,5 puntos y cuatro familias con calificaciones de 8 puntos, siendo estas las 15 familias beneficiarias para ser la muestra objeto de estudio al tener la mayor puntuación.

Fase determinación de la tecnología

Análisis multicriterio

Los expertos dieron un 40,391% de prioridad al criterio técnico, un 25,579% al criterio social, un 25,452% al criterio económico y un 8,578% al criterio ambiental.

Los criterios técnico y social, establecen el valor más alto, puesto que los expertos consideran que en el desarrollo de un proceso que busca establecer un sistema adecuado en el abastecimiento de agua segura, el objetivo principal es encontrar una tecnología eficiente para remover agentes patógenos y que sea de fácil apropiación por parte de la comunidad, con el fin de mantener los sistemas en óptimas condiciones y garantizar su sostenibilidad en el tiempo.

Cabe resaltar que de igual forma los expertos señalan que el criterio económico no tuvo gran discrepancia respecto al criterio social puesto que el desarrollo de estas investigaciones está muy ceñido a la disponibilidad de recursos. Por otra parte, el criterio ambiental tuvo el puntaje más bajo al considerar que la generación de residuos no iba a ser a gran escala y que el beneficio que se obtendría sería mucho mayor.

Las alternativas del sistema de tratamiento no convencional analizadas, fueron: filtro sawyer, filtro de cerámica tipo vela, filtro lifestraw family, filtro sifón, filtro de bioarena, filtro de cerámica tipo olla, filtro nerox, filtro max power, purificador watly, purificador de agua genesse, de las cuales se preseleccionaron la opción A. filtro sawyer, opción B. filtro lifestraw family, opción C. filtro sifón y opción D. filtro de bioarena (Tabla 3).

Tabla 3. Preselección de las tecnologías no convencionales para abastecimiento de agua segura.

Tecnologías	Experto						Total
	1	2	3	4	5	6	
Filtro sawyer	10	8	10	10	10	10	58
Filtro de cerámica tipo vela	5	9	1	4	5	7	31
Filtro lifestraw family	9	5	8	9	8	6	45
Filtro sifón	6	6	5	7	7	8	39
Filtro de bioarena	8	4	9	8	9	5	43
Filtro de cerámica tipo olla	1	2	2	5	6	3	19
Filtro nerox	7	3	7	6	2	4	29
Filtro max power	2	10	4	1	1	1	19
Purificador watly	3	1	3	2	3	9	21
Purificador genesse	4	7	6	3	4	2	26

Las tecnologías se calificaron así: la opción A, correspondiente al filtro sawyer, fue la tecnología con mayor puntuación con un 43,30%, seguido de la opción D correspondiente al filtro de bioarena con un 23,87%, luego la opción C correspondiente al filtro sifón con un 18,60% y finalmente la opción B correspondiente al filtro lifestraw family con un 14,87% (Figura 1).

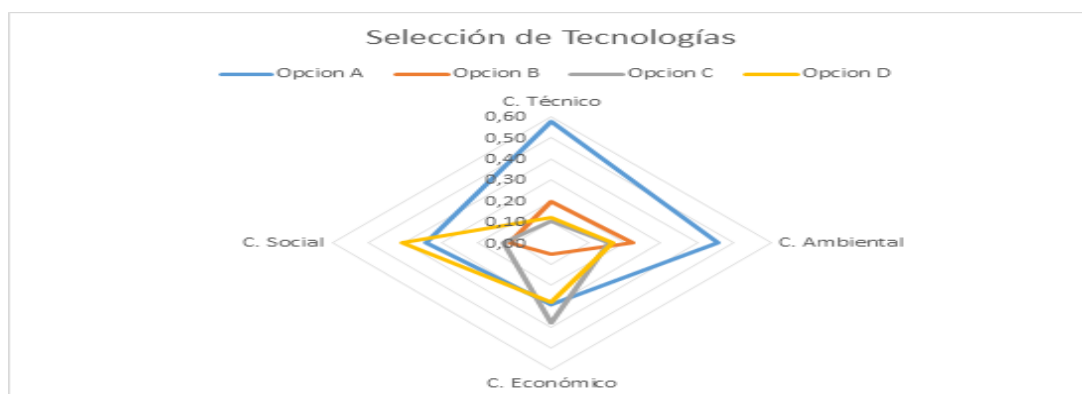


Figura 1. Selección de tecnologías no convencionales para abastecimiento de agua segura. El filtro sawyer fue escogido como la tecnología más adecuada para atender las necesidades que presenta la zona alta del corregimiento de San Fernando. Dicha tecnología prevaleció

con un mayor puntaje en los criterios técnico, social y ambiental. Puesto que el filtro presenta mayores beneficios que las demás alternativas.

Técnicamente el filtro tiene una mayor tasa de filtración con 180 L/h respecto a 10 L/h del filtro LifeStraw Family, 40 L/h del filtro de bioarena y 20 L/h del filtro sifón (CAWST, 2011). Ambientalmente no genera residuos al no requerir repuestos; cabe resaltar que el filtro Sawyer por su forma y diseño tiene una mayor adaptabilidad de acogida por parte de la población, no necesita repuesto a excepción del recipiente de almacenamiento y su mantenimiento es un proceso de retrolavado sencillo (CAWST, 2011).

En el análisis beneficio costo (B/C), el filtro sawyer posee la mayor B/C con un 13,67, y los valores mayor a 1 representan más beneficios que egresos (Bejarano & Cisneros, 2013), de igual manera, su costo anual equivalente (CAE) es el menor, con 331.383 COP, lo que representa un menor costo en su adquisición, operación y mantenimiento a lo largo de su vida útil. Se tuvo en cuenta los valores de costo, duración y mantenimiento que especifica el proveedor.

Transferencia social de la tecnología por parte de la comunidad

Para generar una transferencia social de la tecnología en el contexto de la vereda Alto San Fernando, la implementación de la transferencia participativa para la higiene y el saneamiento - PHAST (Tabla 4) integró la identificación de aspectos ambientales, sociales, institucionales e instrumentos de comunicación. Según Narváez y Martínez (2017), la metodología PHAST brinda una flexibilidad en la ejecución de las actividades y en la escogencia de herramientas a emplear las cuales deben adaptarse al contexto socioambiental en el cual se aplica la metodología.

Tabla 4. Pasos para la transferencia participativa para la higiene y el saneamiento.

Paso	Actividad	Herramienta	Resultado
1. Identificación del problema	1. Historias de la comunidad de problemas de salud en la comunidad	1. Narración de anécdotas	100% de la comunidad comentó sus experiencias respecto a la problemática

			sanitaria en su región.
2. Análisis del problema	1. Buenos y malos hábitos de higiene 2. Prácticas de la comunidad 3. Cómo se propagan las enfermedades	1. Calificación en tres grados 2. Votación con tarjetas 3. Rutas de transmisión	100% de la comunidad reconoció los malos hábitos de higiene y cómo se propagan las enfermedades
3. Planificación de soluciones	1. Cómo detener la propagación de enfermedades 2. Selección de las barreras 3. Tareas de hombres y mujeres en la comunidad	1. Bloqueo de las rutas 2. Gráfico de las barreras 3. Análisis de género	El 93% de la comunidad comprendió como evitar la propagación de enfermedades.
4. Selección de opciones	1. Elección de las mejoras de saneamiento 2. Elección de mejores hábitos de higiene 3. tiempo dedicado a preguntas	1. Opciones de saneamiento 2. Calificación en tres grados 3. Lluvia de preguntas	El 100% de la comunidad comprendió los hábitos saludables que se deben implementar en los hogares
5. Planificación de nuevas instalaciones y cambios de comportamiento	1. Planificación para el cambio	1. Socialización de estrategias	El 93% de la comunidad planificó las estrategias para prevenir enfermedades.
6. Planificación del monitoreo y evaluación	1. Preparación para evaluar el progreso de la comunidad	1. Formato de monitoreo	100% de la comunidad aprobó el formato de monitoreo
7. Evaluación de la planificación	1. Evaluación del progreso	1. Ejecución del formato de monitoreo	El 86% de la comunidad fue evaluada.

Fuente: Transferencia Participativa Para la Higiene y el Saneamiento (2012).

En el siguiente cuadro se presentan los indicadores contruidos para el seguimiento de la transferencia social de la tecnología (Tabla 5).

Tabla 5. Indicadores para el seguimiento de la transferencia social de la tecnología.

Indicadores para realizar el seguimiento de la transferencia social de la tecnología		
Objetivos para medir la transferencia social	Indicador	Criterio

Mejorar los niveles de conocimientos	Presencia de pre-tratamiento doméstico al sistema de filtración.	Cuenta con pre-tratamiento (si/no)
	Ubicación adecuada del filtro	Ubicación adecuada (si/no)
	Talleres de formación	Asistencia a talleres (No. Personas)
Aplicar procesos de operación y mantenimiento	Uso adecuado del filtro	En uso (si/no)
		Limpio (si/no)
	Herramientas de limpieza del filtro	Tenencia de herramientas de limpieza (si/no)
	Frecuencia de lavado y limpieza del filtro	Cantidad de veces lavado/semana
Mejorar la calidad de agua	Turbidez	NTU
	Coliformes fecales	NMP/100ml
	Coliformes totales	NMP/100ml

Fuente: Narváez & Martínez (2017)

Evaluación de eficiencia

Respecto a los resultados que fueron obtenidos por Laboratorios del Valle, acreditados por la NTC ISO 5667, determinaron la eficiencia de los filtros Sawyer. En el primer muestreo (Tabla 6) el 99% de los filtros en el parámetro de turbidez está dentro de lo establecido por la normativa colombiana y el 86% de los filtros está dentro de lo establecido en coliformes totales y fecales. El 14% de los filtros que no lo está, fueron utilizados anteriormente en las capacitaciones con la comunidad en temas de uso del filtro, según el CAWST (2011) la inadecuada manipulación de las tecnologías puede repercutir en la eficiencia de remoción de agentes patógenos que pudo ser el caso de dicha eficiencia.

Tabla 6. Resultados del análisis uno de laboratorio.

N°	Muestreo 1		
	Turbidez (NTU)	Coliformes totales (NMP/100ml)	<i>Escherichia. coli</i> (NMP/100ml)
1	0,45	0	0
2	0,27	0	0
3	0,27	0	0
4	0,19	0	0
5	0,27	0	0
6	0,24	3	0
7	0,43	20	14

8	0,32	15	4
9	0,35	0	0
10	0,27	0	0
11	0,35	0	0
12	2,66	0	0
13	0,2	0	0

Por otra parte el seguimiento realizado al uso, operación y mantenimiento de la tecnología (Figura 2) arrojó que el 100% de las familias no tienen pre-tratamiento doméstico, el 78,5% almacena adecuadamente el agua tratada, el 93% tiene ubicado el sistema en un sitio adecuado, todos los sistemas de tratamiento funcionan correctamente y el 100% asistió a talleres de formación.

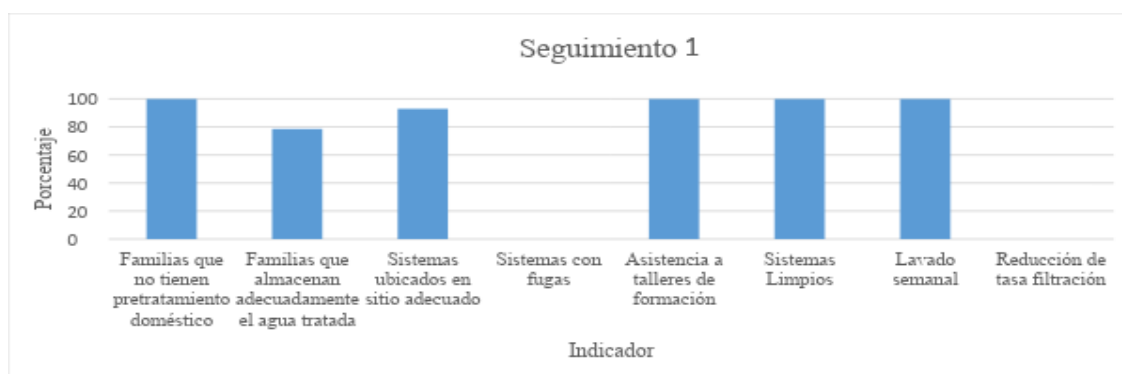


Figura 2. Seguimiento uno de la tecnología

En el segundo muestreo (Tabla 7) el 100% de los filtros en el parámetro de turbidez están dentro de lo establecido por la norma, el 62% está dentro de lo estipulado en la norma en coliformes totales y el 77% cumple con lo estipulado en la norma en coliformes fecales. Se presenta una disminución de la eficiencia de la tecnología por lo que fue necesario la consolidación de una nueva reunión con la comunidad en la que se reforzaron temas del uso y mantenimiento del filtro, además de temas de salubridad e higiene en los hogares.

Tabla 7. Resultados del análisis dos de laboratorio.

N°	Muestreo 2
----	------------

	Turbidez (NTU)	Coliformes totales (NMP/100ml)	<i>Escherichia.</i> <i>coli</i> (NMP/100ml)
1	0,1	0	0
2	0,15	0	0
3	0,09	0	0
4	0,1	0	0
5	0,1	0	0
6	0,43	3,6	0
7	0,1	93	3
8	0,2	240	43
9	0,16	0	0
10	0,24	0	0
11	0,22	0	0
12	0,21	210	43
13	0,14	23	0

El seguimiento de la tecnología en el segundo muestreo (Figura 3) arrojó que el 100% de las familias no tienen pre-tratamiento doméstico, el 93% almacena adecuadamente el agua tratada, el 93% tiene ubicado el sistema en un sitio adecuado, se presenta un 7,1% de hogares que tiene fugaz con reducción de tasa de filtración y el 92,86% asistió a talleres de formación.

En este seguimiento se pudo determinar un aumento en los coliformes totales y fecales al igual que el porcentaje de la tasa de reducción de filtración que evidencia un inadecuado mantenimiento de la tecnología, generando la disminución de la eficiencia del filtro. Por lo que fue necesario el realizar una capacitación refuerzo en temas de manipulación del filtro.

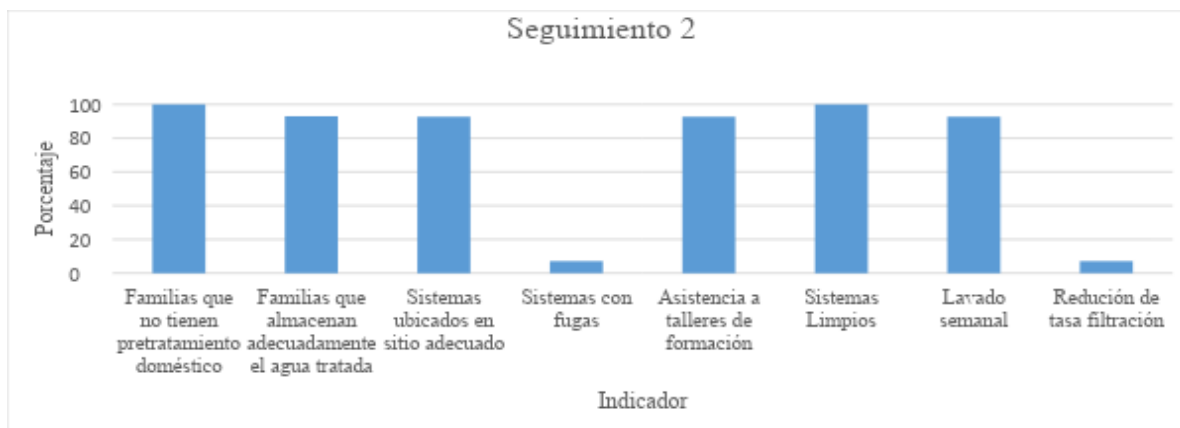


Figura 3. Seguimiento dos de la tecnología

El tercer y último muestreo (Tabla 8) determinó que el 100% de los filtros están dentro de lo establecido por la norma en los parámetros de turbidez, coliformes totales y fecales. La OMS (2012) establece que el agua de consumo humano debe estar dentro de lo estipulado por la normativa de cada Estado para ser considerada como apta y lograr bienestar en las comunidades.

Tabla 8. Resultados del análisis tres de laboratorio

N°	Muestreo 3		
	Turbidez (NTU)	Coliformes totales (NMP/100ml)	<i>Escherichia. coli</i> (NMP/100ml)
1	0,2	0	0
2	0,14	0	0
3	0,08	0	0
4	0,1	0	0
5	0,1	0	0
6	0,22	0	0
7	0,3	0	0
8	0,1	0	0
9	0,1	0	0
10	0,12	0	0
11	0,21	0	0
12	0,1	0	0
13	0,1	0	0

Finalmente, el último seguimiento (Figura 4) determinó que el 93% de las familias almacenó adecuadamente el agua tratada, el 100% ubicó adecuadamente el sistema, el 93% asistió al último taller y el 100% de los filtros funcionaron de manera adecuada.



Figura 4. Seguimiento tres de la tecnología

CONCLUSIONES

- La calidad del agua de las dos quebradas que abastecen la planta de tratamiento no presenta ningún tipo de alteración en sus características fisicoquímicas y establece un nivel muy bajo de alteración en sus características microbiológicas, sin embargo, la red de acueducto presenta un nivel alto en la alteración microbiológica y fisicoquímica debido a la colmatación de la tubería que afecta el agua ya tratada.
- Las tecnologías de tratamiento no convencional que venían prefabricadas tuvieron mayor aceptación por los expertos que las tecnologías que requerían algún proceso de construcción, argumentando la necesidad de optimizar el tiempo o el riesgo al fracaso por un inadecuado procedimiento que puede tener sin una adecuada orientación; sin embargo, enfatizaron la idea del beneficio de apropiación que tendría el construir el filtro de bioarena con ayuda de la comunidad.
- El filtro sawyer es 99% eficiente en la remoción de turbidez, coliformes totales y fecales, si se presenta una adecuada manipulación por parte de las familias, de ahí la importancia de recalcar el constante retrolavado y la higiene a la hora de hacer uso de la tecnología.
- El éxito de las tecnologías no convencionales está ligado a la transferencia social que se aplique a lo largo de su implementación; puesto que la apropiación que la comunidad le dé al sistema es vital para su sostenibilidad en el tiempo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un seguimiento periódico por parte de los líderes comunitarios a lo largo de la vida útil de la tecnología para conocer el comportamiento de la eficiencia en la remoción de agentes patógenos.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía municipal de Pasto. (2016-2019). Plan de desarrollo municipal “Pasto educado constructor de paz”.

Ayllene & Cohen. (2013). Salud, crecimiento económico y reducción de la pobreza. pp. World Health Organization, Geneva. 54-56.

Bejarano, S & Cisneros, K. (2013). Evaluación financiera de proyectos de cooperación técnica destinados a la generación de ingresos sostenibles. pp. 24-30.

Carvajal, I. (2012). Mapa de riesgo de la calidad de agua para consumo humano de la vereda La Trinidad y la vereda Tocogua - municipio de Duitama. Boyacá. pp. 17-24.

Centre for affordable water and sanitation technology - CAWST. (2011). Características filtro Sawyer. Primera edición. Canadá. p14.

Centro de Estudios en Planificación, Políticas Públicas e Investigación Ambiental - CEPPIA. (2011). Manual de introducción a la gestión ambiental municipal. El Salvador.

Espinosa, A. (2014). Impactos antrópicos en la calidad del agua. Periódico digital de divulgación de la Red del Agua. Instituto de Ecología, UNAM. México.

Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. Química Viva. Instituto Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA). Volumen 3, p.1.

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia - UNICEF (2005). El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo. Colombia.

Fundación por la Social-democracia de las Américas - FUSDA, (2008). Medio ambiente y desarrollo: hacia un manejo sustentable del agua. El agua, Recurso Natural y Elemento de Desarrollo. México. p.22.

Grisales, (2009). Sistemas no convencionales de tratamiento de agua superficiales para comunidades de desplazados en estado de emergencia (CASO VILLA-CLARÍN).

Instituto Departamental De Salud De Nariño. (2016). Plan de salud territorial- salud par... -- buen vivir. Diagnóstico de la Situación de Salud. Nariño.

Junta de Acueducto Local. (2017). Actualización del censo sanitario. Corregimiento San Fernando. Nariño. Colombia.

Lagares, P & Puerto, J., (2001). Población y muestra. Técnicas de muestreos. Management Mathematics for European Schools. Universidad de Sevilla. España. pp. 4-11.

León, L. & Mejía L., (2015). Caracterización socioeconómica y tecnológica de la producción del plátano en el bajo occidente del departamento de Caldas. Universidad de Caldas. pp. 181-192.

Leonel H. Narváez N. Morales D., (2016). Evaluación de dos sistemas no convencionales para mejorar la calidad de agua de consumo humano en el resguardo indígena Alto Cartagena, adscrito a Camawari, Ricaurte. Universidad de Nariño. Colombia.

Mazorra J. & González M., (2012). Análisis multicriterio para la selección de la tecnología idónea de tratamiento de aguas residuales en la comunidad de Falía, Delta del Saloum, Senegal.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 4716. Establecimiento de las condiciones, recursos y obligaciones mínimas que deben cumplir las autoridades sanitarias departamental, distrital y municipal. República de Colombia. Disponible en: https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MPS-MAVDT_4716_2010.pdf.

Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007) Resolución 2115. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. República de Colombia. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf

Ministerio de la Protección Social. (2007). Decreto 1575. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. República de Colombia. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>

Moreno, J., (2012). Proceso analítico jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones. Universidad de Zaragoza. España.

Murtagh, S. (2009). Enseñanza y aprendizaje en los programas de desarrollo rural. Algunas consideraciones sobre el conocimiento campesino y el rol de los técnicos extensionistas. Universidad de Buenos Aires. Argentina.

Naciones Unidas Para Los Derechos Humanos - NUDH. (2011). El derecho al agua. Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. New York. p.4.

Narváez, N. & Martínez, J. (2017). Apropiación social de una tecnología no convencional para el tratamiento del agua en la vivienda, Vereda El Motilón, Pasto, Nariño. p.144

Norma Técnica Colombiana ISO-5667. (2004). Directrices para la preservación y manejo de muestreos. ICONTEC. Disponible en: <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000140-e3b67e5121/NTC-ISO%205667-03-2004.%20Directrices%20para%20la%20preservacion%20y%20manejo%20de%20muestras.pdf>

Organización de las Naciones Unidas - ONU. (2014). Calidad del agua. Agua fuente de vida. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas.

Organización Mundial de la Salud - OMS. (2004). Guías para la calidad del agua potable. Tercera edición. Ginebra, Suiza. Volumen 1.

Organización Mundial de la Salud - OMS. (2012). Evaluación de métodos para el tratamiento domésticos de agua. Metas sanitarias y especificaciones de eficiencia microbiológica. Ginebra, Suiza.

Transferencia participativa para la higiene y el saneamiento – PHAST (2012). Guía para la Higiene y el Saneamiento. Organización Mundial de la Salud. (2012). Ginebra.

Patiño, B. Salazar H. Rodríguez T. (2015). Proyecto Análisis de las implicaciones sociales y económicas de las Autopistas para la Prosperidad en el departamento de Antioquia. Gobernación de Antioquia. Medellín. pp 72-78.

Plan de Ordenamiento Territorial de Pasto Territorio Con Sentido. (2014 – 2027). Clasificación del suelo urbano, rural, suburbano, de expansión y de protección. Colombia.

Pontificio Consejo De Justicia y Paz. (2012). El agua, un elemento esencial para la vida, Adoptar soluciones eficaces. Sexto foro mundial del agua. Marsella, Francia. pp 6-8.

Sánchez, D. (2016). Calidad del agua en ríos. Escuela de Ingenieros de Caminos y Puertos de Ciudad Real. Universidad de Castilla.

Subsecretaría de Planeación y Calidad de Pasto. (2018). Índices de morbilidad. Corregimiento de San Fernando. Nariño. Colombia. pp1-3.

Trejos, J. (2007). Selección de beneficiarios para programas sociales. Instituto de Investigación en Ciencias Económicas. Universidad de Costa Rica. p52.